

## Ocena emisyjności zasilania pojazdu elektrycznego w aspekcie odnawialnych źródeł energii

Jan Gutsche<sup>1\*</sup>, Łukasz Muślewski<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Autor korespondencyjny; e-mail: jangutsche1@gmail.com

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: l.muslewski@wp.pl

**Streszczenie:** Celem pracy jest analiza struktury energetycznej z wyszczególnieniem odnawialnych źródeł energii w aspekcie ich eksploatacji. Zestawiono udział poszczególnych gałęzi energetyki produkujących „zieloną” energię w Polsce wraz z omówieniem niedogodności związanych z eksploataowaniem takich systemów. Omówiono również perspektywy budowy nowych obiektów elektrociepłowniczych zasilanych biomasą. Na tej podstawie została przeprowadzona analiza porównawcza w aspekcie emisji dwutlenku węgla dla auta elektrycznego zasilanego z elektrociepłowni spalającej słomę oraz pojazdów posiadających jednostkę spalinową. Badania jednoznacznie wykazały, iż pomimo występującego procesu spalania słomy wartość emisji dwutlenku węgla jest znacząco niższa niż w przypadku konwencjonalnego pojazdu, co w znaczącym stopniu pozytywnie oddziałuje na środowisko naturalne.

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, pojazdy elektryczne, eksploatacja, dwutlenek węgla

---

## The assessment of the emissivity of an electric vehicle power supply in terms of renewable energy sources

Jan Gutsche<sup>1\*</sup>, Łukasz Muślewski<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Correspondent author; e-mail: jangutsche1@gmail.com

<sup>2</sup> UTP University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: l.muslewski@wp.pl

**Summary:** The aim of the work is to analyze the energy structure with the specification of renewable energy sources in terms of its exploitation. The share of all branches of the power industry producing "green" energy in Poland was summarized, along with a discussion of the inconveniences related to the use of such systems, which result from external factors. The prospects for the construction of new biomass-fired CHP plants were also discussed. On this basis, a comparative analysis was carried out in terms of carbon dioxide emissions for an electric car powered by a straw-fired CHP plant and vehicles with a combustion unit. The research clearly showed that despite the straw burning process, the value of carbon dioxide emissions is significantly lower than in the case of a conventional vehicle. Contributing significantly to the positive impact on the natural environment.

**Key words:** renewable energy sources, electric vehicles, operation, carbon dioxide

## 1. Wstęp

Antropogeniczne czynniki powstałe w wyniku eksploatacji złóż paliw kopalnych w bezpośredni sposób przyczyniają się do zmian termodynamicznych biosfery. Wcześniejsze działania wynikające z korzystania z dostępnych nośników energii dążyły do zmian środowiskowych, a nie zmian klimatu. Było to spowodowane przez konsumpcję drewna, które w dominujący sposób wykorzystywano na opał oraz jako materiał konstrukcyjny. Aktualnie działania na świecie ukierunkowane są na dynamiczne zmiany w eksploatacji alternatywnych paliw i źródeł, służących do wytwarzania „zielonej” energii. Zmiany te są uwydatnione od okresu rewolucji przemysłowej, ze względu na wzmożone zapotrzebowanie starano się zagwarantować stabilność energetyczną oraz niskie nakłady ekonomiczne. W XX w. można zaobserwować spadek udziału węgla z 60% do 25% oraz wzrost użytkowania ropy naftowej z 30% do 46%. Wszelkie paliwa kopalne z biegiem lat zaczynały być zastępowane przez energię atomową oraz odnawialne źródła energii. Ze względu na marginalne zastosowanie pozostałych obszarów energetycznych wykorzystanie paliw kopalnych pod koniec XX w. wynosiło 87% całkowitego pokrycia popytu na energię elektryczną, co przyczyniło się na przestrzeni ostatnich pięćdziesięciu lat do wzrostu zapotrzebowania do 350%.

Analizując równanie Ehrlicha i Holdrena [13] opisujące wzrost liczby ludności i jego wpływ na środowisko:

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

gdzie:

- I – presja ludności,
- P – wielkość populacji,
- A – konsumpcja zasobów per capita,
- T – miara wpływu działalności gospodarczej,

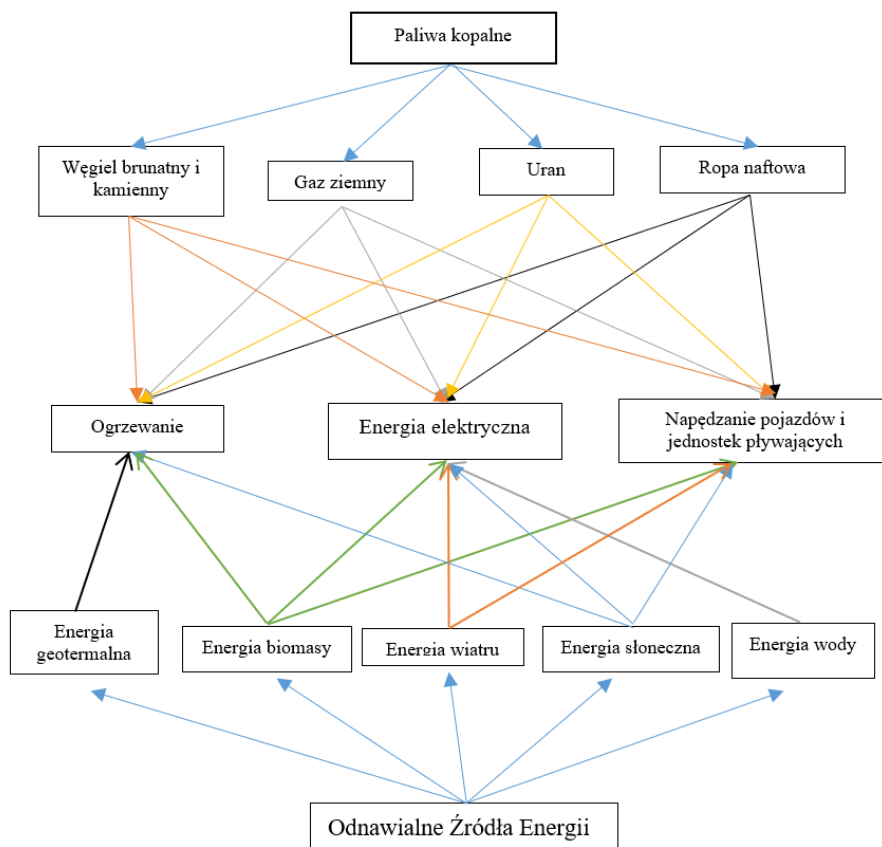
wyznaczono, że emisja dwutlenku węgla była znacznie zwiększona na przełomie XIX i początku XX w. na obszarach uprzemysłowionych [13].

Wraz z rozwojem nowych technologii pod koniec XX w. sytuacja uległa zmianie i kraje słabo rozwinięte stały się głównymi wytwórcami dwutlenku węgla [2].

## 2. Krajowy mix energetyczny

Źródła pozyskiwanej energii można podzielić na konwencjonalne i odnawialne. Należy zauważyć, że paliwa kopalne powstałe w naturalnych procesach biologicznych na przestrzeni milionów lat mają ograniczone zasoby. Można scharakteryzować je ze względu na bytność w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym, gazowym. Dzięki nim możliwe jest produkowanie energii elektrycznej, cieplnej, jak i mechanicznej. Proces urbanizacji oraz rozwój gospodarczy przyczyniły się w znaczącym stopniu do poszukiwania alternatywnych źródeł energii. W obawie o nieodwracalnie zmniejszające się zasoby paliw kopalnych zaczęto adaptować odnawialne źródła, do których zalicza się: energię słoneczną, energię wiatrową,

energię wodną uzyskiwaną z naturalnego przepływu oraz energię geotermalną i biomasę [4] (rys. 1).



Rys. 1. Możliwe konfiguracje wykorzystania paliw konwencjonalnych i OZE [opracowanie własne na podstawie [4]]

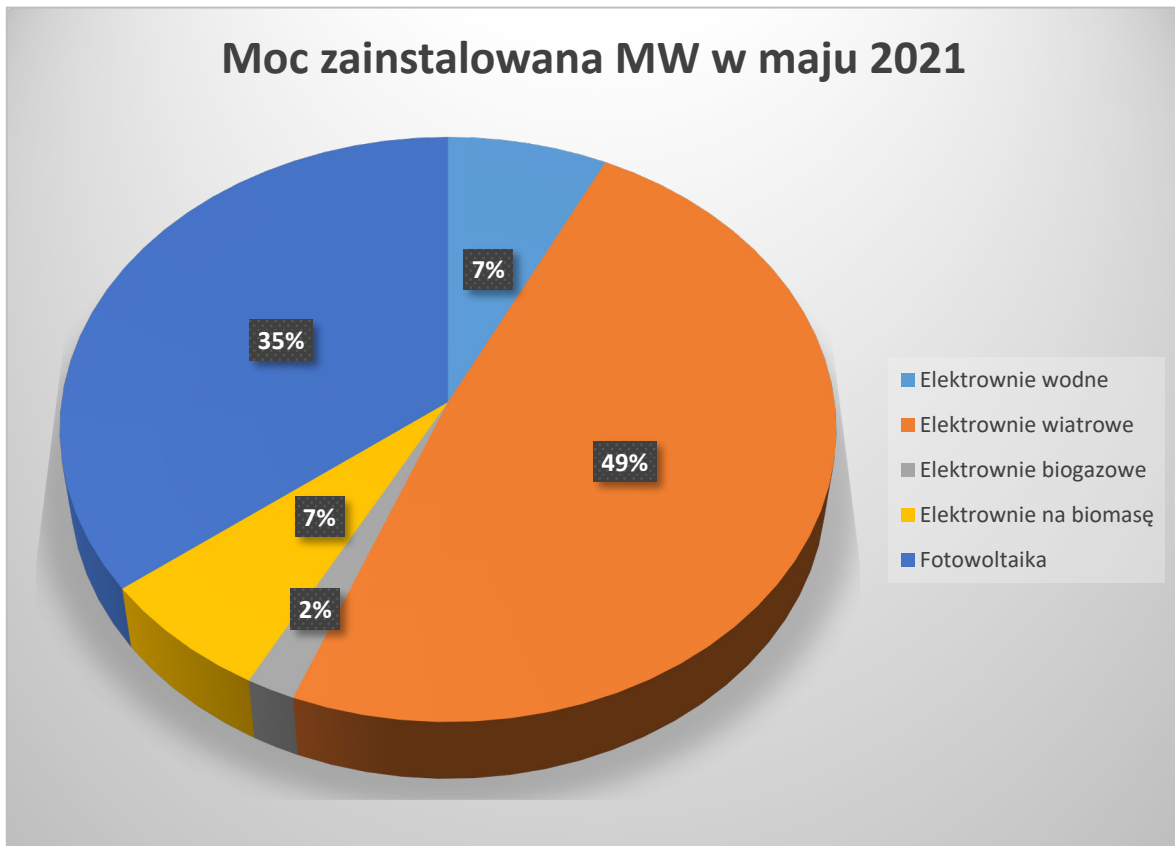
Fig. 1. Possible configuration for use of conventional fuels and RES [own study based on [4]]

Ze względu na marginalny udział ekologicznych źródeł energii w Polsce można dokonać podziału na małe i średnie elektrownie przydomowe, które zużywają energię na poczet prowadzenia gospodarstwa, oraz instalacje dużej mocy stanowiące istotne wsparcie dla sieci przesyłowej. Straty wynikłe z niesprzyjających warunków atmosferycznych, obniżających sprawność działania urządzeń, wpływają niekorzystnie na środowisko naturalne poprzez konieczność kompensowania ubytków mocy przez konwencjonalne elektrownie [1].

Uwzględniając definicję stworzoną przez Międzynarodową Agencję Energetyczną do odnawialnych źródeł energii nie zalicza się [7]:

- palnych odpadów przemysłowych,
- nieodnawialnych odpadów komunalnych i innych odpadów palnych,
- technologicznego ciepła odpadowego,
- ciepła grzewczego wyprodukowanego przez pompę ciepła,
- energię pozyskaną w elektrowni wodnej typu szczytowo-pompowa.

Na podstawie danych udostępnionych przez Agencję Rynku Energii moc zainstalowana odnawialnych źródeł energii na przestrzeni roku kalendarzowego od maja 2020 wzrosła o 32,2%, stanowiąc blisko 13,4 GW [15] (rys. 2).



Rys. 2. Procentowy udział mocy zainstalowanej OZE [15]  
Fig. 2. Percentage share of the installed capacity of RES [15]

Całościowo w organizacji sieci odnawialnych źródeł energii dominują elektrownie wiatrowe z mocą ponad 6,5 GW oraz instalacje fotowoltaiczne wytwarzające ponad 4,7 GW, stanowiąc 84% produkowanej energii przez OZE [15].

### 3. Pojazdy zasilane energią elektryczną a degradacja środowiska

Badania prowadzone nad rozwojem napędów elektrycznych oraz hybrydowych w dużym stopniu są zależne od poziomu technologicznego samych ogniw zasilających. Dąży się do tego, by układ zasilający stanowił długookresowe źródło dostarczanego prądu. Ze względu na zróżnicowanie w dostępnych systemach przechowywania energii można charakteryzować ilość gromadzonej energii jako gęstość masową oraz gęstość objętościową. Największe wartości zgromadzonej energii w jednostce objętości uzyskują akumulatory litowo-jonowe, zaś najmniejsze akumulatorów kwasowo-ołowiowych [8].

Zagraniczne instytuty badawcze, takie jak: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Society of Automotive Engineers (SAE) oraz International Electromechanical Commission (IEC) prowadzą badania nad standaryzacją wymagań funkcjonalnych dla systemów ładowania pojazdów [3]. Plan elektromobilności zakłada eksploatację pojazdów „bezemisyjnych”, jednakże w ujęciu polskiej infrastruktury energetycznej i dominacji elektrowni konwencjonalnych wszystkie eksploatowane pojazdy akumulatorowe pozostawiają po sobie ślad węglowy [5].

Pojazd elektryczny może być zasilany odnawialnymi źródłami energii, jednak ze względu na brak stabilności i przerywany charakter pracy sprawność takich układów szacowana jest na nieco ponad 39% [6]. Na podstawie dyrektywy wydanej przez International Energy Agency dotyczącej nośników energii i produktów palnych, takich jak biomasa, zakwalifikowanych jako odnawialne źródło energii, można dokonać analizy ekologiczno-ekonomicznej eksploatacji pojazdu elektrycznego [7] (tabela 1).

**Tabela 1.** Właściwości wybranych komponentów biomasowych [11]

**Table 1.** Properties of selected biomass components [11]

Rodzaj biomasy	Wilgotność [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]	Wartość opałowa [kWh/kg]	Cena za 1 kg	Sprawność konwersji na energię elektryczną [%]
Drewno kawałkowe sezonowane	15	15	4,17	0,85	90
Zrębki	25	11	3,05	0,12	70
Pelet drzewny	8	17,5	4,73	0,75	90
Słoma luzem	15	15	4,17	0,14	80

Spalanie drewna emituje do atmosfery CO<sub>2</sub> oraz pyły. Substancje stałe są małocząsteczkowe na tle tych emitowanych przy spalaniu węgla, natomiast są groźniejsze, ponieważ z łatwością są wchłaniane przez ludzki organizm. W przypadku spalania drewna o wysokiej wilgotności oraz w kotłach o niskiej sprawności emisja wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz dioksyn jest mniejsza niż w przypadku spalania węgla. Spalanie drewna sezonowanego nie ma więc ekologicznego oraz ekonomicznego uzasadnienia ze względu na dużo niższy koszt słomy [6].

Słoma jako produkt należący do biomasy powstaje w tysiącach ton dzięki rolnictwu. Istnieje możliwość zagospodarowania tego odpadu jako paliwa do produkcji energii. Słoma może zasilać paleniska w różny sposób i z tego względu wyróżnia się m.in.: kotły wsadowe, kotły do spalania rozdrobnionej słomy oraz kotły cygarowe (tabela 2). W Polsce planowana była budowa elektrociepłowni zasilanej słomą w Kowalach; jej docelowa moc miała sięgać 40 MWt i 20 MWe [12].

**Tabela 2.** Tabela średniej emisji substancji podczas spalania słomy [11]

**Table 2.** Table of the average emission of substances during the combustion of straw [11]

		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	Pył	
Spalanie słomy	Kotły zmechanizowane na słomę rozdrobnioną	0,17	0,4	517,94	1	0,15	[g/m <sup>3</sup> ]
	Kotły z załadunkiem wsadowym	0,17	0,4	517,94	2	0,2	

#### 4. Badania własne

Zakładając, iż dysponuje się odpowiednią infrastrukturą do wytwarzania energii elektrycznej ze słomy, można dokonać analizy eksploatacyjnej pojazdu elektrycznego pod kątem emisji szkodliwych substancji wynikających ze spalania biomasy. Przyjęto, że obiektem badań jest pojazd elektryczny Audi E-Tron o nominalnej pojemności baterii wynoszącej 95 kWh. Zużycie energii oscyluje na poziomie  $28,4 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$ , co przekłada się na realny zasięg pojazdu ok. 350 km. W tabeli 3 do obliczenia ilości emitowanych gazów zastosowano współczynnik  $\beta = 0,6$  odpowiadający za sumę strat przemian energii elektrycznej w ciepło oraz kaloryczności samego paliwa, jakim jest słoma. Przyjęto również średni ciężar słomy wynoszący  $80 \text{ kg/m}^3$  [14]. Współczynnikami A i B oznaczono wartości emitowanych substancji przez dwa różne typy kotłów:

- A – kotły zmechanizowane na słomę rozdrobnioną,
- B – kotły z załadunkiem wsadowym.

**Tabela 3.** Tabela emisji szkodliwych substancji przez elektrociepłownie niezbędną do przebycia drogi przez pojazd elektryczny [opracowanie własne]

**Table 3.** The table of emissions of harmful substances by combined heat and power plants necessary to travel the road by an electric vehicle [own study]

Przebyta odległość [km]	SO <sub>2</sub>	Nox	Co <sub>2</sub>	CO	Pył	
100	0,09656	0,2272	294,1899	0,568	0,0852	A
	0,09656	0,2272	294,1899	1,136	0,1136	B
200	0,19312	0,4544	588,3798	1,136	0,1704	A
	0,19312	0,4544	588,3798	2,272	0,2272	B
500	0,4828	1,136	1470,95	2,84	0,426	A
	0,4828	1,136	1470,95	5,68	0,568	B
1000	0,9656	2,272	2941,899	5,68	0,852	A
	0,9656	2,272	2941,899	11,36	1,136	B
10000	9,656	22,72	29418,99	56,8	8,52	A
	9,656	22,72	29418,99	113,6	11,36	B
15000	14,484	34,08	44128,49	85,2	12,78	A
	14,484	34,08	44128,49	170,4	17,04	B

Do analizy porównawczej emisji szkodliwych substancji przez środki transportu zestawiono ze sobą trzy pojazdy pochodzące od jednego producenta, lecz każdy o innym zasilaniu (tabela 4).

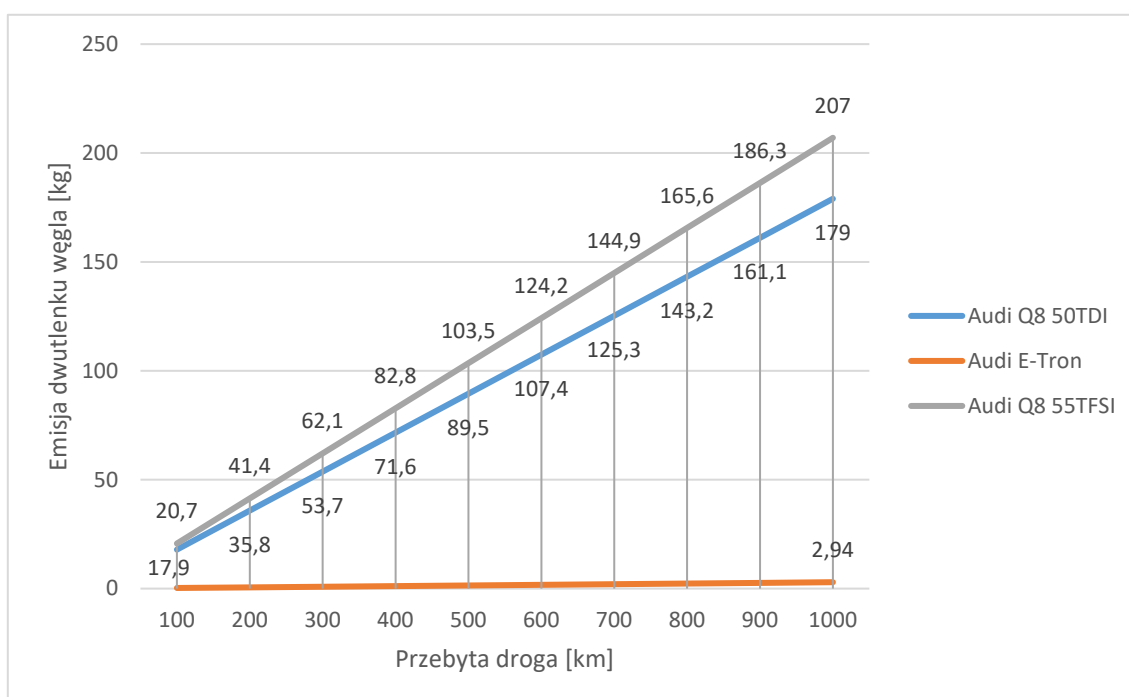
**Tabela 4.** Tabela wybranych parametrów technicznych pojazdów poddanych analizie [17, 18]

**Table 4.** Table of selected technical parameters of the analyzed vehicles [17, 18]

	Audi E-Tron	Audi Q8 50TDI	Audi Q8 55TFSI
Typ silnika	Elektryczny	Wysokoprężny	Benzynowy
Masa pojazdu [kg]	2695	2145	2095
Moc silnika [KM]	503	286	340
Moment obrotowy [ Nm]	973	600	500
Długość [mm]	4902	4986	4986
Szerokość [mm]	1976	1995	1995
Wysokość [mm]	1629	1705	1705

Pojazdy mają zbliżone wymiary geometryczne. Ze względu na typ zasilania charakteryzują się różną masą własną. Pojazd elektryczny znacznie odbiega od pozostałych aut ze względu na umieszczone w podłodze ogniwa do magazynowania energii. Pojazdy spalinowe są wyposażone w sześciocylindrowe jednostki widlaste o pojemności trzech litrów.

Poniższy wykres liniowy (rys. 3) przedstawia ilość wyprodukowanego dwutlenku węgla przez pojazdy pokonujące ten sam odcinek drogi. Auto z silnikiem wysokoprężnym emituje ponad 61 razy większą ilość CO<sub>2</sub> niż pojazd elektryczny, zaś w pojeździe zasilanym benzyną ilość ta wzrasta aż 71-krotnie.



**Rys. 3.** Emisja dwutlenku węgla przez pojazdy w funkcji drogi [opracowanie własne]

**Fig. 3.** Emission of dioxide by vehicles as a function of the road [own study]

## 5. Podsumowanie

Odnawialne źródła energii stanowią niszę w globalnej strukturze energetycznej. Jest to podyktowane koniecznością ponoszenia dużych nakładów finansowych z tytułu budowy specjalistycznej infrastruktury. Polityka Unii Europejskiej skłania państwa członkowskie do zwiększenia udziału ekologicznych źródeł energii, by ta stawała się konkurencyjna dla spalania paliw kopalnych. Biomasa kategoryzowana jest jako produkt biologiczny podatny na rozkład, będąc tym samym odpadem organicznym powstałym podczas uprawy roli. Energię słoneczną gromadzoną w roślinności poprzez akumulację energii chemicznej dzięki procesowi fotosyntezy, można przetworzyć w elektrociepłowniach pozyskując ciepło oraz energię elektryczną. Pomimo iż wartość opałowa słomy jest o ok. 42% niższa niż w przypadku węgla, istnieje możliwość przetwórstwa tego surowca w celu zapewnienia pokrycia zapotrzebowania na energię.

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej pojazdu elektrycznego zasilanego z elektrowni na biomasę oraz pojazdów z silnikami spalinowymi o porównywalnych parametrach geometrycznych zaobserwowano nawet 71-krotnie większą emisję CO<sub>2</sub> w pojeździe z silnikiem o zapłonie iskrowym podczas przebycia tej samej odległości przez wszystkie pojazdy. Emisja dwutlenku węgla dla pojazdu elektrycznego została ujęta jako bezpośrednia emisja wynikająca ze spalania słomy bez uwzględniania dodatkowych czynności operacyjnych. Ślad węglowy, który jest mierzalnym wskaźnikiem wywodzącym się bezpośrednio z antropogenicznych czynników, wywołanym bezpośrednio przez emisję dwutlenku węgla, powstającym na skutek eksploatacji pojazdu, przyczynia się do powstania śladu węglowego. W Unii Europejskiej ponad 70% emisji szkodliwych substancji określanych jako gazy cieplarniane pochodzi z transportu. Pomimo procesu spalania słomy jako paliwa, będącego jednym z wariantów odnawialnych źródeł energii, sumaryczna ilość emitowanych gazów jest istotnie niższa niż w przypadku eksploatacji konwencjonalnego pojazdu spalinowego, i tym samym pozytywnie wpływa to na ekosystem.

## Bibliografia

- [1] Bandzul, W., „Wpływ elektrowni wiatrowych na niezawodność pracy systemu elektroenergetycznego”, Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA, *Elektroenergetyka* 3(54),(2005).
- [2] Cowie, J., „Climate Change. Biological and Human Aspects”, Cambridge University Press 2007.
- [3] Czyż, P., Cichowski, A., „Przegląd systemów ładowania elektrycznych osobowych pojazdów i koncepcja dwukierunkowej ładowarki pokładowej”, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej* 57(2017).
- [4] Hodana, M., Holtzer, G., Kalandyk, K., Szymańska, A., Szymański, B., Żymankowska-Kumon, S., „Odnawialne źródła energii Poradnik”, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Kraków 2012.



- [5] Gutsche, J., Muślewski, Ł., Dzioba, A., Matyukh, S., "Identification and analysis of factors influencing climate change in terms of CO<sub>2</sub> emissions", MATEC Web Conferences 332, 01002, 2021.
- [6] Kasztylewicz, Z., Patyk, M., „Nowoczesne i sprawne elektrownie węglowe strategicznym wyzwaniem dla Polski”, *Polityka Energetyczna* 18(4),(2015).
- [7] Norwisz, J., Musielak, T., Boryczko, B., „Odnawialne źródła energii – polskie definicje i standardy”, *Rynek Energii* 1(2006).
- [8] Pielecha, I., Merkisz, J., „Problematyka ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych”, Konferencja Naukowo-Techniczna 6–8 kwietnia 2016, Pałac Mierzęcin Wellness & Wine Resort.
- [9] Tomaszewski, K., „Rola czynnika ludzkiego w kształtowaniu polityki energetycznej współczesnego państwa”, *Środkowoeuropejskie Studia Polityczne* 1(2020), 147–169.
- [10] Tomaszewski, K., Sekściński, A., „Odnawialne źródła energii w Polsce – perspektywa lokalna i regionalna”, *Rynek Energii* 4(149),(2020).
- [11] [www.fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/spalanie\\_wyklad\\_mechanika/SPALANIE\\_I\\_PALNIKI/SPALANIE\\_BIOMASY.PDF](http://www.fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/spalanie_wyklad_mechanika/SPALANIE_I_PALNIKI/SPALANIE_BIOMASY.PDF) (dostęp: 25.06.2021).
- [12] [www.inzynieria.com/energetyka/wiadomosci/14705,elektrocieplownia-na-slome-w-kowalach](http://www.inzynieria.com/energetyka/wiadomosci/14705,elektrocieplownia-na-slome-w-kowalach) (dostęp: 25.06.2021).
- [13] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Paul\\_R.\\_Ehrlich](https://pl.wikipedia.org/wiki/Paul_R._Ehrlich) (dostęp: 25.06.2021).
- [14] <https://rolniczy.wordpress.com/2011/01/08/57/> (dostęp 25.06.2021).
- [15] <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-oze-w-polsce/> (dostęp 25.06.2021).
- [16] <https://smoglab.pl/dym-ze-spalania-drewna-co-zawiera/> (dostęp: 25.06.2021).
- [17] <https://www.autocentrum.pl/dane-techniczne/audi/q8/suv/> (dostęp: 25.06.2021).
- [18] <https://www.autocentrum.pl/elektryczne/audi/e-tron/> (dostęp: 25.06.2021).